

PAT-NO: JP02001013337A

DOCUMENT-IDENTIFIER: JP 2001013337 A

TITLE: ARRAY WAVEGUIDE GRATING ELEMENT INDEPENDENT ON
TEMPERATURE

PUBN-DATE: January 19, 2001

INVENTOR-INFORMATION:

NAME
YONEDA, SHIGERU

COUNTRY
N/A

ASSIGNEE-INFORMATION:

NAME
NEC CORP

COUNTRY
N/A

APPL-NO: JP11186721

APPL-DATE: June 30, 1999

INT-CL (IPC): G02B006/12, G02B006/293

ABSTRACT:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a method for reducing the excessive loss of the array waveguide grating whose wavelength characteristic is not varied to variations of an ambient temperature.

SOLUTION: The widening of light in a groove part is controlled and the excessive loss owing to the addition of the groove is reduced by applying either of the following changes or the change combined thereof to a wedge type groove part 4 provided in the array waveguide part 3 of an array waveguide grating or to the peripheral quartz waveguide part. A photosensitive material is used as the material embedded into the groove part 4 wherein a refractive index temperature coefficient is negative, the difference of the refractive index is also provided in the groove part utilizing the photosensitivity, and whereby an optical waveguide is formed in the traverse direction or in both longitudinal and traverse directions. A material having a high refractive index is used as the material embedded into the groove part 4 whose refractive index temperature coefficient is negative, and the widening angle when light is made incident on the groove part is reduced. The traverse width of the quartz waveguide in the front and the back of the groove part is enlarged, and the widening angle is reduced when light is made incident on the groove part.

COPYRIGHT: (C)2001,JP

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2001-13337

(P2001-13337A)

(43) 公開日 平成13年1月19日 (2001.1.19)

(51) Int.Cl.⁷

識別記号

F I

テーマコード* (参考)

G 0 2 B 6/12
6/293

G 0 2 B 6/12
6/28

F 2 H 0 4 7
B

審査請求 有 請求項の数 6 O L (全 10 頁)

(21) 出願番号 特願平11-186721

(22) 出願日 平成11年6月30日 (1999.6.30)

(71) 出願人 000004237

日本電気株式会社

東京都港区芝五丁目7番1号

(72) 発明者 米田 茂

東京都港区芝五丁目7番1号 日本電気株式会社内

(74) 代理人 100105511

弁理士 鈴木 康夫 (外1名)

Fターム(参考) 2H047 KA02 KA04 KA12 LA01 LA19

PA11 PA17 PA21 PA22 PA24

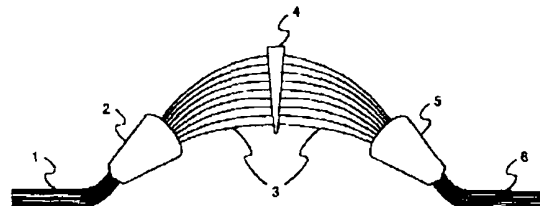
QA04 QA05 RA00 TA00

(54) 【発明の名称】 温度無依存アレイ導波路格子素子

(57) 【要約】

【課題】 周囲の温度変化に対して、波長特性が変化しないアレイ導波路格子の過剰損失を低減する方法を提供する。

【解決手段】 アレイ導波路格子のアレイ導波路部に設けた楔型溝部4もしくはその周辺の石英導波路部に以下のいずれかの変更、もしくはそれらの組み合わせた変更を加える事により、溝部における光の広がりを抑制し、溝追加による過剰損失を低減する。1. 溝部4に埋め込む屈折率温度係数が負である材料として感光性のあるものを用い、その感光性を利用して溝部にも屈折率差を設け、それにより横方向もしくは縦横両方向に光導波路を形成する。2. 溝部4に埋め込む屈折率温度係数が負である材料として高屈折率であるものを用い、溝部に光が入射した際の広がり角を小さくする。3. 溝部前後の石英導波路の横幅を拡大し、溝部に光が入射した際の広がり角を小さくする。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 1本または複数本からなる入力導波路、当該入力導波路より入射される入力側スラブ導波路、当該入力側スラブ導波路の反対側に接続された複数本からなるアレイ導波路、当該アレイ導波路の他端に接続された出力側スラブ導波路、当該出力側スラブ導波路の反対側に接続された複数本からなる出力導波路によって構成されるアレイ導波路格子と、前記アレイ導波路部に設けられた楔型の溝部と、当該溝部に埋め込まれた屈折率温度係数が負である材料によって構成された温度無依存アレイ導波路格子において、前記溝部に入射した光をその横方向もしくは縦横両方向に閉じこめて光の広がりを抑制する手段が設けられていることを特徴とするアレイ導波路格子。

【請求項2】 前記溝部に埋め込む材料は感光性のある材料であり、その感光性を利用して前記溝部埋め込み材料中に屈折率差を設け、それにより当該溝部埋め込み材料中に横方向もしくは縦横両方向に光導波路が形成されている事を特徴とする請求項1記載のアレイ導波路格子。

【請求項3】 前記溝部に埋め込む材料として、前記アレイ導波路格子を構成する材料の屈折率よりも高屈折率の材料が用いられていることを特徴とする請求項1記載のアレイ導波路格子。

【請求項4】 前記アレイ導波路の前記溝部前後の導波路部のコア幅が拡大されていることを特徴とする請求項1記載のアレイ導波路格子。

【請求項5】 前記溝部に埋め込む材料は、前記アレイ導波路格子を構成する材料の屈折率よりも高屈折率であってかつ感光性のある材料であり、その感光性を利用して前記溝部埋め込み材料中に屈折率差を設け、それにより当該溝部埋め込み材料中に横方向もしくは縦横両方向に光導波路が形成されている事を特徴とする請求項1記載のアレイ導波路格子。

【請求項6】 前記溝部に埋め込む材料として前記アレイ導波路格子を構成する材料の屈折率よりも高屈折率の材料が用いられており、かつ前記アレイ導波路の前記溝部前後の導波路部のコア幅が拡大されていることを特徴とする請求項1記載のアレイ導波路格子。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、アレイ導波路格子（AWG: Arrayed Waveguide Grating）の温度無依存化技術に関する。さらに詳しくは、本発明は、アレイ導波路格子の波長特性の温度依存性を解消することにより、従来光通信システムにおいて安定な合成分波特性を得るために必須とされていたベルチェ素子等による外部温度補償を不必要とするための技術に関する。

【0002】

【従来の技術】光ファイバ通信システムにおいて、伝送

容量の拡大を実現するための高密度波長分割多重通信方式（Dense Wavelength Division Multiplexing: DWDM）では、それぞれの波長を分割、統合するための合成分波デバイス（波長フィルタ）が極めて重要となる。

【0003】光波長フィルタには様々な形態のものがあるが、中でもアレイ導波路格子は波長特性が狭帯域、高消光比であり、また多入力多出力型のフィルタデバイスであるため、多重化された信号の分離もしくはその逆の動作を行わせることが可能であり、容易に波長合成分波デバイスが構成できる。

【0004】さらに、石英導波路を用いて構成する事により、光ファイバとの結合に優れ、挿入損失数dB程度の低挿入損失動作を実現できるため、特に重要なデバイスとして注目され、国内外で盛んに研究が行われている。

【0005】図11は、従来のアレイ導波路格子の全体図である。アレイ導波路格子は一般に、1本または複数本からなる入力導波路7、入力側スラブ導波路8、数十～百数十本からなるアレイ導波路9、出力側スラブ導波路10、複数本からなる出力導波路11によって構成される。

【0006】入射側導波路7より入射した多重信号光は、入射側スラブ導波路8で広がり、アレイ導波路9にそれぞれ等位相で入射する（ただし入射光強度は各アレイ導波路で等しくはなく、ほぼガウス分布となる）。

【0007】アレイ導波路9では、各導波路間に一定の光路長差がつけられており、順次光路長が長く（もしくは短く）なっていくように構成されている。従って、アレイ導波路9のそれぞれの導波路を導波する光には一定間隔の位相差が付与されて出力側スラブ導波路10に達するが、波長分散があるために波長によってその等位相面は傾く。

【0008】それにより、波長によって出力側スラブ導波路10と出力導波路11の界面上の異なった位置に光が結像（集光）するため、そのそれぞれの位置に各出力導波路を配置する事により、各出力導波路から任意の波長成分を取り出すことが可能になる。

【0009】このように、アレイ導波路格子においては、上記の光路長差が波長選択性の重要なパラメータになるが、従来の光導波路では光路長に温度依存性があり、フィルタ透過帯域（中心波長）が周囲の温度によって変動するという問題があった。例えば石英系ガラス導波路の場合、温度が1℃変化すると、波長フィルタの中心波長は、この光路長の温度依存性によって約0.01nm（中心周波数に換算すると約1.3GHz）変動する。さらに半導体系材料を用いたデバイスにおいては、この約10倍の温度依存性が存在する。

【0010】このような温度依存性の問題を解決するための一つの方法として、高精度な温度制御装置を素子に付加するという方法もあるが、この方法ではデバイスの

低コスト化、小型化の障害になり、さらに装置全体の信頼性を低下させることにも繋がる。

【0011】そこで、従来アレイ導波路格子の温度依存性を解消するために、アレイ導波路部の光路長差の温度依存性をキャンセルする方法が考えられている。光導波路の光路長の温度依存性は、光導波路材料の屈折率の温度依存性と基板材料の温度膨張（収縮）に起因する。

【0012】このアレイ導波路格子のアレイ導波路部の光路長差の温度依存性をキャンセルした例として、例えば「H.Tanobe et.al, IEEE Photon. Technol. Lett., Vol.10, No.2, pp.235-237, 1998」では、InP系材料において屈折率温度係数の異なる2種類の材料を用いてそれぞれ導波路を形成し、各アレイ導波路の「高屈折率温度係数導波路部」と「低屈折率温度係数導波路部」の長さを調整して、アレイ部における光路長の温度依存性を零にしている。

【0013】しかしながら、同一平面上に別材料から成る光導波路（特にPLC: Planar Lightwave Circuit）を形成する事は困難であり、製造プロセスが複雑かつ長くなるという問題がある。上記従来例においては光導波路構造はPLCではなく、2次元平板のコア層の上に薄いクラッド層を挟み、その上にリブを形成しているが、これでは光の閉じ込めの効果が少なく、曲げ等における*

$$\frac{d}{dT} \left[n_{\text{SiO}_2} \Delta L_{\text{SiO}_2} \right] + \frac{d}{dT} \left[n_{\text{silicone}} \Delta L_{\text{silicone}} \right] = 0 \quad (1)$$

が満たされている必要がある。

【0017】しかしこの例では、導波路に溝を設けてその中にシリコンを流し込むだけであるため、溝部に入射した光に対しては何ら閉じ込めは行わないことから、溝部を導波中に光が上下左右方向に広がり、再び石英導波路部に入る際に全ての光が結合しないため損失が増大する（上記従来例では約2dBの損失増大がある）という問題があった。さらに、その損失値は溝部の長さによって異なるため、溝部以降の石英導波路部では各アレイ導波路の本来のパワー分布からずれるという問題もあった。

【0018】

【発明が解決しようとする課題】以上のように、アレイ導波路格子の温度無依存化に関して従来の技術では、プロセスが非常に複雑になったり、またデバイス挿入損失が大幅に増大し、さらにアレイ導波路部における光パワーが本来の分布からずれるという問題が生じていた。

【0019】本発明の目的は、プロセスが簡単であり、かつ過剰損失の少ない温度無依存アレイ導波路格子の製造方法を提供する事にある。

【0020】

【課題を解決するための手段】本発明は、上記アレイ部に楔型の溝を挿入する方法において、当該溝部に入射した光をその横方向もしくは縦横両方向に閉じこめて光の※50

*放射損失が大きくなるという問題がある（上記従来例におけるアレイ導波路格子の損失は、総合で16～18dB）。

【0014】上記例と同じく、アレイ部に屈折率温度係数の違う2種類の材料を用いる方法において製造プロセスが比較的簡単な例として、例えば「Y. Inoue et al, Electron. Lett., Vol.33, No.23, pp.1945-1947, 1997」がある。この例では、図12に示されるようにアレイ導波路12（図11のアレイ導波路9の一部分）中に、深さが基板まで達する楔型の溝13を設け、そこに屈折率温度係数が負であるシリコン14を埋め込み、屈折率温度係数が正である石英導波路部と正負でキャンセルする事により、各アレイ間の光路長差の温度依存性を解消している。

【0015】図12において、石英導波路部12の等価屈折率を n_{SiO_2} 、シリコン14の屈折率を n_{silicone} 、石英アレイ導波路部の隣接導波路間導波路長差を ΔL_{SiO_2} 、シリコン部の隣接導波路間導波路長差を $\Delta L_{\text{silicone}}$ とすると、アレイ導波路部における光路長差の温度依存性を解消するには

【0016】

【数1】

※広がり抑制する手段を設けたことを特徴とする。その結果、溝挿入によって発生する過剰損失を低減し、低損失な温度無依存アレイ導波路格子を実現する事ができる。

【0021】具体的には、アレイ導波路格子のアレイ導波路部に設けた楔型溝部もしくはその周辺の石英導波路部に以下のいずれかの変更、もしくはそれらの組み合わせた変更を加える事により、溝部における光の広がりを抑制し、溝追加による過剰損失を低減する事を特徴とする。1. 溝に埋め込む屈折率温度係数が負である材料として感光性のあるものを用い、その感光性を利用して溝部に屈折率差を設け、それにより横方向もしくは縦横両方向に光導波路を形成する。2. 溝に埋め込む屈折率温度係数が負である材料として高屈折率であるものを用い、石英導波路部から溝部に光が入射した際の広がり角を小さくする（前記従来例では、溝部埋め込み材料（シリコン）の屈折率は1.39である）。3. 溝部前後の石英導波路の横幅を拡大し、石英導波路部から溝部に光が入射した際の光の広がり角を小さくする。

【0022】なお、屈折率温度係数が負である材料としては、一般的にはポリマー材料が挙げられる。

【0023】上記の手段を用いることにより、アレイ導波路格子のアレイ導波路部への溝形成による過剰損失を低減させる事ができ、低損失な温度無依存アレイ導波路

格子を実現する事ができる。

【0024】

【発明の実施の形態】図1は、本発明が適用されるアレイ導波路格子の概略図(全体図)であり、図2は、本発明が適用されるアレイ導波路格子の石英導波路部の断面図である。図1のアレイ導波路格子は、入力導波路1、入力側スラブ導波路2、アレイ導波路3、基板まで掘り下げられた溝部4、出力側スラブ導波路5、出力導波路6よりなる。

【0025】石英導波路(入出力導波路及びアレイ導波路)は、基板15上に形成された下層クラッド16、当該下層クラッド材料よりも若干屈折率の大きい材料で形成されたコア17、当該コア材料よりも若干屈折率が小さい材料にて形成された上層クラッド18からなる(一般的には下層クラッドと上層クラッドの材料は同一であるが、上記屈折率の条件を満たしていれば異なる材料であっても全く差し支え無い)。

【0026】図3は、本発明の第1の実施の形態を示すアレイ導波路格子によるアレイ導波路部の拡大図である。図3において、19は(石英導波路からなる)アレイ導波路群、20はアレイ導波路19中に、基板材料15に達するまで(つまり上層クラッド18、コア17、下層クラッド16全てを削り取る)掘り下げられた楔型の溝部、21、22はその溝中に埋め込まれた(屈折率温度係数が負である)感光性ポリマーである。

【0027】溝部20に感光性ポリマーを埋め込んだだけの時点においては、21と22の間に境は無く、同一である。その感光性ポリマーが光照射によって屈折率が上昇する場合、22が光照射によって屈折率が変化した(上昇した)感光性ポリマー部となる。逆にその感光性ポリマーが光照射によって屈折率が減少する場合、21が光照射によって屈折率が変化した(減少した)感光性ポリマー部となる。なおこのアレイ導波路部においては、各設計値は式(1)が満たされている。

【0028】従来においては、図1の溝部4に屈折率温度係数が負であるシリコンを埋め込むだけであったが、本発明においては当該溝部に埋め込むポリマー材料として感光性のあるものを用いる。感光性ポリマー(フォトリソグラフィとも称される)は、ある波長の光に反応して屈折率が変化する特徴を有し、本発明ではその感光性ポリマーの屈折率変調を利用する。

【0029】具体的な製造方法としては、まず最初に通常のプロセスによりアレイ導波路格子を製作する。ここで言う通常のプロセスとは、1. 基板材料に下層クラッドを形成、2. コアを形成、3. フォトリソグラフィプロセスによりコアにアレイ導波路格子パターンを転写、4. コアをエッチング、5. 上層クラッドの形成、という工程を示す。

【0030】アレイ導波路格子が完成した後、溝部のパターンをアレイ導波路格子のアレイ部に転写し、溝部が

形成される部分の上層クラッド18、コア17、下層クラッド16を全てエッチングする。その後、溝部に感光性ポリマーを注入し、硬化させる。

【0031】ここで当該感光性ポリマーが、光照射によってその屈折率が増加する特性を有する場合には、溝部に埋め込んだ感光性ポリマーの、元コア17に相当する部分(図3の22)にのみ光を照射して屈折率を上昇させて、その部分をコアとする横方向(基板と水平方向)の光導波路を形成する。

【0032】当該感光性ポリマーが、光照射によってその屈折率が減少する特性を有する場合には、溝部に埋め込んだ感光性ポリマーの、元クラッド16、18に相当する部分(図3の21)のみに光を照射して屈折率を減少させて、その部分をクラッドとする横方向の光導波路を形成する。

【0033】つまり本方法は、溝部にも光導波路を形成する事によって、溝部における光の横方向拡散を抑制することを特徴とする。

【0034】図4は、第1の実施の形態による溝部における損失の特性改善の様子を示している。これは、図2において下層クラッド16および上層クラッド18の厚さを $1.5\mu\text{m}$ 、コア17の形状を $5.5\mu\text{m} \times 5.5\mu\text{m}$ とし、下層クラッド16および上層クラッド18の屈折率を1.4526、コア14の屈折率を1.4629(比屈折率差 $\Delta n = 0.7\%$ に相当)とし、その光導波路に溝を設けてポリマーを埋め込んだ場合の、溝部の(光の導波方向の)長さに対する損失の変化を解析した結果である。

【0035】図4において、23は溝に屈折率1.45のポリマーを埋め込んだだけの場合(従来例に相当)の損失を示し、24は溝部の元コア17に相当する部分のポリマーに、比屈折率差 $\Delta n = 0.7\%$ となるように屈折率を変化させた場合の損失を示している。溝部の元コアに相当する部分の感光性ポリマーの屈折率を上昇させて、横方向に光の閉じ込めを行った場合、ポリマーを埋め込んだだけの状態と比較して損失値が(dBで)約半分にまで低減できている事が分かる。なお、溝部の元クラッドに相当する部分の屈折率を減少させて相対的に同様の屈折率差を付与する場合もほぼ同様の結果が得られる。

【0036】上記では、溝部の元コア部(クラッド部)の屈折率を変化させるには、溝部に感光性ポリマーを埋め込んだ後に、溝部に元の導波路パターンのマスクを重ねて、通常のフォトリソグラフィによるプロセスと同様にその上面から一様な光を照射し、溝部に埋め込んだ感光性ポリマーに導波路パターンを転写する事を想定している。

【0037】ただしこの方法では屈折率差が付くのは横方向のみであり、縦方向(基板と垂直方向)には屈折率差は付かない。ここでもし、ある一点にのみ集光可能な

レーザ光を用いて感光性ポリマー内に屈折率変化部を三次元的に直描する事ができれば、光を上下左右方向に閉じ込める事が可能となり、図4の24に示した従来例の解析結果よりもさらに損失を低減することができる。

【0038】なお、本実施の形態に用いる感光性ポリマーとしては、まず屈折率温度係数が負である事が前提条件であるが、その他の特性としては透明性に優れているもの、感光による屈折率の制御性の良いもの、経時変化*

*の無いもの、耐候性に優れているものが望ましい。

【0039】屈折率の制御性に関しては、光の照射時間もしくは照射強度によって屈折率が正確かつ再現性良く制御できる事を示す。表1に、一般的な感光性ポリマーの例を示す。

【0040】

【表1】

フォトポリマー	露光量 (mJ/cm ²)	波長 (nm)	Δn
nビニルカルバゾール + マクリルモノマー	750	325	0.002
オムニテックス(デュポン)	5	442-647	0.068
マクリルモノマー + アクリルモノマー	400	442	0.016
アクリルモノマー + エポキシ	-	-	0.006
アクリルモノマー	200	488	0.002
ポリシリラン	255	370	0.021

さらに、図4から、溝の長さが短いほど損失値は小さい事が分かるが、溝の長さを短くするには、同じアレイ本数であった場合は、式(1)中のΔ $\epsilon_{\text{silicon}}$ の値を小さくすれば良く、そのためにはポリマー材料の屈折率温度係数の絶対値が大きい(マイナスの値が大きい)事が望ましい。

【0041】図5は、本発明の第2の実施の形態によるアレイ導波路格子のアレイ導波路部の拡大図である。図5において、19は(石英導波路からなる)アレイ導波路群、20はアレイ導波路19中に、基板材料に達するまで(つまり上層クラッド、コア、下層クラッド全てを削り取る)掘り下げられた楔型の溝部、38はその溝中に埋め込まれた屈折率温度係数が負であってかつ高屈折率のポリマーである。

※40

$$\theta = \tan^{-1} \left(\frac{1}{k n w} \right)$$

(2)

と表される。

【0045】そこで、本実施の形態は、式(2)中の屈折率nの値を大きくする事、すなわち溝部20に埋め込まれるポリマーとして、アレイ導波路の材料である石英の屈折率よりも高屈折率のポリマー38を用いることによって溝部における光の広がり角を小さくし、その光が溝部から再び石英導波路19に入射する際の結合損失を★50

※【0042】光導波路を導波している光が一樣媒質中に射出する場合、その一樣媒質中においては光を閉じ込める構造が無いため、媒質中を伝搬するにつれて光は広がっていく。

【0043】ここで、一樣媒質の屈折率をn、導波路導波光のスポットサイズをw(スポットサイズとは、導波モードの電界分布をガウシアン分布でフィッティングした場合の、ピーク値からの1/e半幅(パワー分布の1/e²半幅)である。)、真空中の伝搬定数をk(=2π/λ、λ：真空中での波長)とすると、一樣媒質に射出した光の放射角θは

【0044】

【数2】

★低減したことを特徴としている。

【0046】図6は、溝部に埋め込むポリマー材料の屈折率の値を変化させて、溝挿入による過剰損失の解析を行ったグラフであり、石英導波路の各パラメータは第1の実施の形態で記したものと同様である。25は溝部長さが50μmの場合、26は同100μmの場合、27は同200μmの場合である。従来の温度無依存アレイ

導波路格子 (Y. Inoue et al., Electron. Lett., Vol.33, No.23, pp.1945-1947, 1997) で用いられているシリコンの屈折率1.39と比較して高屈折率にした場合、損失が大幅に低減されている事が分かる。

【0047】図6より、屈折率1.39の場合と比較して、損失を(dBで)半分まで低減させるには屈折率を約1.8、同1/4まで低減させるには屈折率を約2.0以上にすれば良い。アレイ導波路を構成する石英の屈折率(約1.45)より大きければ損失低減効果が期待できるが、屈折率が1.6以上であればより好ましい。この実施の形態では、溝部における縦横両方向の光の広がりを抑制する事に相当する。

【0048】図7は、本発明の第3の実施の形態によるアレイ導波路格子のアレイ導波路部の拡大図である。この第3の実施の形態では、式(2)中のスポットサイズwの値を大きくする事によって溝部における光の広がりを小さくし、その光が溝部から再び石英導波路に入射する際の損失の低減を図っている。

【0049】石英導波路導波光のスポットサイズwの値を大きくするには、石英導波路のコア径を大きくすれば良い。本実施の形態では、溝部前後の石英導波路のコアを横方向に広げる事によって導波光の横方向のスポットサイズを拡大している。

【0050】図7において、28は(石英導波路からなる)アレイ導波路群、29は当該石英アレイ導波路のコアの幅が拡大された部分、30はアレイ導波路中に、基板材料に達するまで(つまり上層クラッド、コア、下層クラッド全てを削り取る)掘り下げられた楔形の溝部、31はその溝中に埋め込まれた屈折率温度係数が負の材料(ポリマー)である。

【0051】なお、石英導波路のコア幅を急激に変化させた場合、モード変換損失が生じるため、通常は適当な長さのテーパを設け、断熱的にコア形状を変化させていく。

【0052】図8は、溝部前後の石英導波路のコア幅を変化させた場合の溝挿入による過剰損失の解析結果であ*

$$\frac{d}{dT} |n_{\Delta L}| = \Delta L \frac{dn}{dT} + n \frac{d\Delta L}{dT} \quad (3)$$

を適用すると、式(1)は

【0058】

$$\begin{aligned} & \Delta L_{\text{SiO}_2} \frac{dn_{\text{SiO}_2}}{dT} + n_{\text{SiO}_2} \frac{d\Delta L_{\text{SiO}_2}}{dT} + \Delta L_{\text{polymer}} \frac{dn_{\text{polymer}}}{dT} \\ & + n_{\text{polymer}} \frac{d\Delta L_{\text{polymer}}}{dT} = 0 \end{aligned} \quad (4)$$

となる。

【0059】ここで、一般的に基板材料は導波層に比べて十分厚いことから、導波路の熱膨張係数(1/L)(dL/dT)は基板の熱膨張係数 α_{sub} に近似できるとして、式 ★50

*る。石英導波路の横幅以外の各パラメータは第1の実施の形態で記したものと同様であり、本解析においては溝の長さは100 μm で固定とした。図8において、32が埋め込むポリマーの屈折率が1.45の場合、33が屈折率1.65の場合、34が屈折率2.0の場合である。

【0053】図8より、埋め込むポリマー材料の屈折率が1.45の場合、コア幅を10 μm にすると溝長さが100 μm の時、損失が約1dB低減されている事が分かる。また、このコア幅拡大は、溝部に埋め込むポリマー材料の屈折率が低い程その効果が大きい事が分かる。

【0054】以上、本発明の異なる実施の形態について説明したが、それらを組み合わせた場合には、より大きな相乗効果が得られる。ただし横方向の光閉じ込めについて考えた場合、第1の実施の形態(溝部のポリマーに屈折率差を付与)と第3の実施の形態(石英部コア幅の拡大)を同時に行っても意味が無いため、損失を最小限にするには、第1の実施の形態(屈折率差付与)および第2の実施の形態(高屈折率材料使用)の併用、第2の実施の形態(高屈折率材料使用)および第3の実施の形態(コア幅拡大)の併用のいずれかとなる(溝部で3次元の光閉じ込めが行える場合は屈折率差の付与のみでよい)。

【0055】図9は、上記のそれぞれの場合についての解析結果である。35は溝部に通常の屈折率を持つポリマー材料を溝部に埋め込んだだけの、従来の方法に基づくものであり、36は第1の実施の形態+第2の実施の形態の場合、37は第2の実施の形態+第3の実施の形態の場合の損失値の解析結果である。図9より、従来の方法と比較して溝部挿入による過剰損失値がより一層低減される事が分かる。

【0056】次に、溝部の具体的な設計例を示す。式

(1)左辺の各項について、

【0057】

【数3】

※【数4】

※40

★(4)を整理すると

【0060】

【数5】

11

12

$$\Delta L_{\text{SiO}_2} \frac{dn_{\text{SiO}_2}}{dT} + \Delta L_{\text{polymer}} \frac{dn_{\text{polymer}}}{dT} + |n_{\text{SiO}_2} \Delta L_{\text{SiO}_2}$$

$$n_{\text{polymer}} \Delta L_{\text{polymer}} | \alpha_{\text{sub}} = 0$$

(5)

となる。

【0061】ここで各パラメータの一例として、 $n_{\text{SiO}_2} = 1.46$ 、 $n_{\text{polymer}} = 1.45$ 、 $dn_{\text{SiO}_2}/dT = 6.0 \times 10^{-6}$ 、 $dn_{\text{polymer}}/dT = 4.0 \times 10^{-4}$ 、 $\alpha_{\text{sub}} = 3.0 \times 10^{-6}$ 、 $\Delta L_{\text{SiO}_2} = 50 \times 10^{-6}$ 、アレイ導波路の本数=100本とすると、式(5)より $\Delta L_{\text{polymer}} = 1.3 \times 10^{-6}$ となる。

【0062】つまり、溝の最小の長さを0とすると、溝の最長部は約130 μm となる(光のパワーが最も多く配分されるアレイ導波路中央部の長さはその半分の約65 μm)。ただし、溝の最小長さはポリマー埋め込みのプロセスに依存し、ポリマーの粘度などの問題で埋め込みが完全に行われない場合は、溝の最小の長さを長めに取る。つまりあらかじめある程度のオフセットを付けておく必要がある。

【0063】以上のように、各材料パラメータ、構造パラメータが決定された後、もしくは決定する段階において、前述の実施の形態1~3の技術を適用すれば、溝形成による損失の増大を抑制する事ができ、低損失な温度無依存アレイ導波路格子を実現する事ができる。

【0064】

【発明の効果】本発明を用いることにより、アレイ導波路格子のアレイ導波路部への溝形成による過剰損失を低減させる事ができ、低損失な温度無依存アレイ導波路格子を実現する事ができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明によるアレイ導波路格子の概略図である。

【図2】アレイ導波路格子の石英導波路部の断面図である。

【図3】本発明の第1の実施の形態によるアレイ導波路格子のアレイ導波路部の拡大図である。

【図4】第1の実施の形態による溝部における損失の解析結果である。

【図5】本発明の第2の実施の形態によるアレイ導波路格子のアレイ導波路部の拡大図である。

【図6】第2の実施の形態による溝部における損失の解析結果である。

【図7】本発明の第3の実施の形態によるアレイ導波路格子のアレイ導波路部の拡大図である。

【図8】第3の実施の形態による溝部における損失の解析結果である。

【図9】それぞれの実施の形態を組み合わせた場合の、*

* 溝部における損失の解析結果である。

【図10】従来のアレイ導波路格子の全体図である。

【図11】他の従来例における、アレイ導波路格子のアレイ導波路部に設けた溝部およびその周辺部分の拡大図である。

【符号の説明】

1 入力導波路

2 入力側スラブ導波路

3 アレイ導波路

4 溝部

5 出力側スラブ導波路

6 出力導波路

7 入力導波路

8 入力側スラブ導波路

9 アレイ導波路

10 出力側スラブ導波路

11 出力導波路

12 アレイ導波路

13 溝部

14 シリコン

15 基板

16 下層クラッド

17 コア

18 上層クラッド

19 アレイ導波路

20 溝部

21 感光性ポリマー

22 感光性ポリマー

23 従来の場合の溝部の損失

24 溝部ポリマーに屈折率差を設けた場合の溝部の損失

25 溝部長さが200 μm の場合の溝部の損失

26 溝部長さが100 μm の場合の溝部の損失

27 溝部長さが50 μm の場合の溝部の損失

28 アレイ導波路

29 コアの横幅が拡大された部分

30 溝部

31 ポリマー

32 溝部のポリマーの屈折率が1.45の場合の溝部の損失

33 溝部のポリマーの屈折率が1.65の場合の溝部の損失

34 溝部のポリマーの屈折率が2.0の場合の溝部の損失

(8)

特開2001-13337

13

14

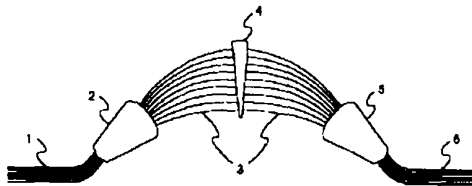
35 従来の場合の溝部の損失

37 第1の実施の形態+第3の実施の形態の場合の溝部の損失

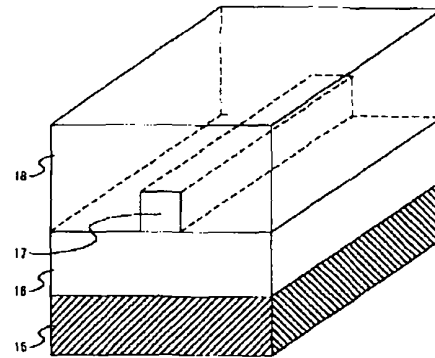
36 第1の実施の形態+第2の実施の形態の場合の溝部の損失

38 高屈折率ポリマー

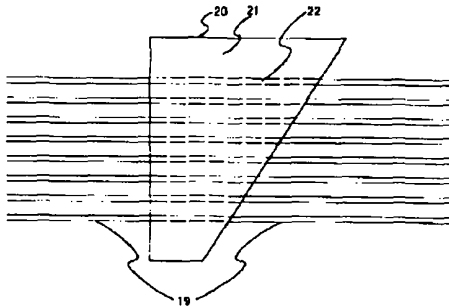
【図1】



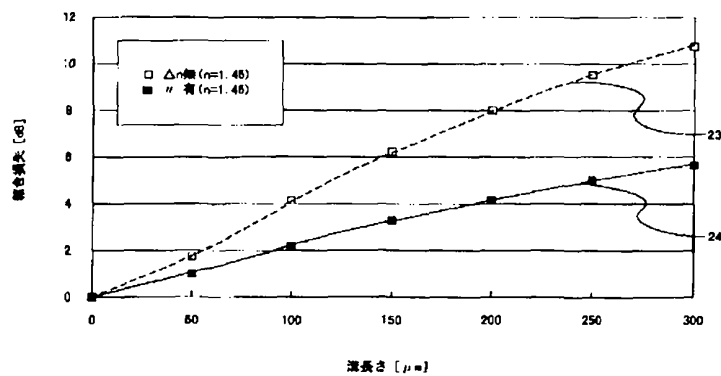
【図2】



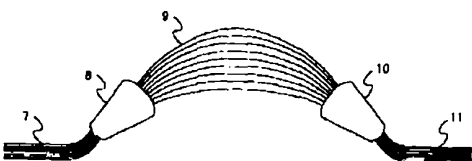
【図3】



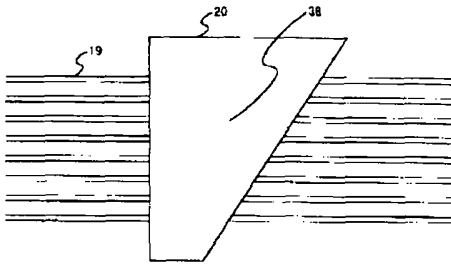
【図4】



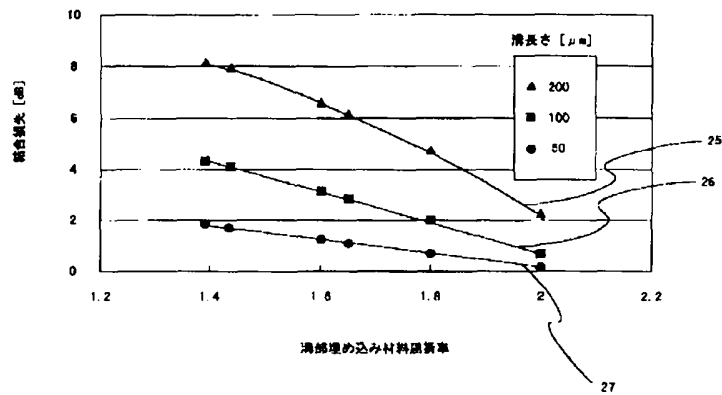
【図10】



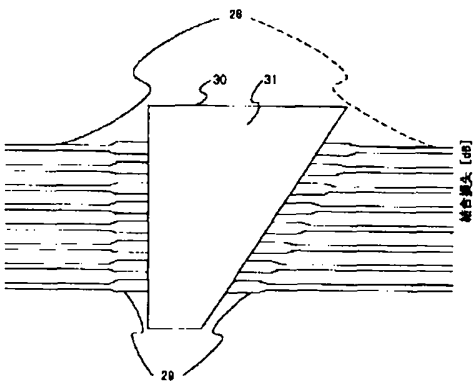
【図5】



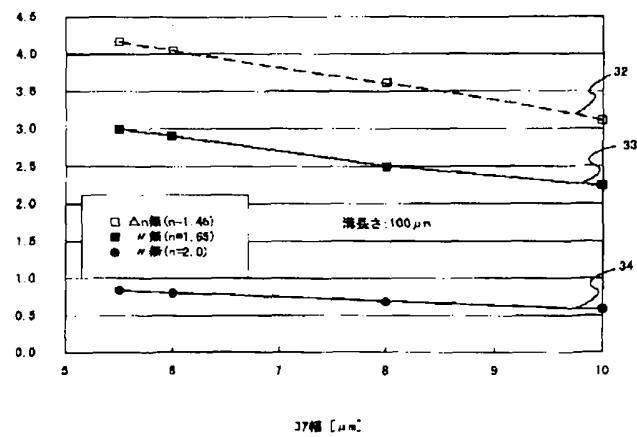
【図6】



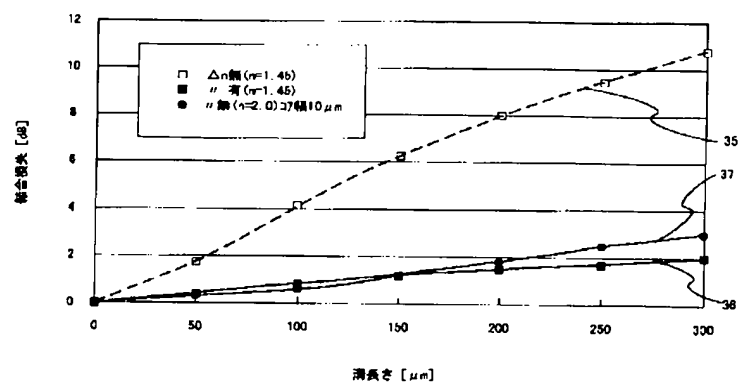
【図7】



【図8】



【図9】



【図11】

